

*Beitrag zur näheren Kenntniss der Ursache des Erhärtens
der Mörtel beim Altern.*

Von Dr. A. Bauer,

Assistenten bei der Lehrkanzel der Chemie am k. k. polyt. Institute.

Als im Anfange dieses Jahres mit der Demolirung der Basteien Wiens und zwar mit der *Rothen thurm thor*-Bastei der Anfang gemacht wurde, wollte ich die Gelegenheit nicht vorüber gehen lassen, ohne eine Untersuchung des Mörtels dieser alten Gemäuer vorzunehmen, da trotz den Untersuchungen von Fuchs, Schrötter, Petzhold, John, Vicat, Saussure, Guyton, Döbereiner-Berthier, Descotils, Morveau und anderen, die Frage der Erhärtung des Mörtels durch das Altern noch nicht völlig gelöst ist, und besonders über die Rolle der Kohlensäure hierbei in verschiedenen Lehrbüchern der Chemie verschiedene Ansichten mitgetheilt sind.

Der Mörtel, den ich zur Untersuchung verwendete, war aus der oberen Gewölbmauer zwischen zwei Gewölbiegel herausgenommen worden, welche früher die Decke eines Verkaufsladens bildeten, so dass dieser Mörtel nur durch die Übertünchung vor dem Einflusse der atmosphärischen Luft geschützt war.

Das Alter dieser Mauer wurde mir als etwas über 50 Jahre betragend angegeben.

Die Analyse des Mörtels, die ich gemeinschaftlich mit Herrn G. A. Lehner, Praktikanten im chemischen Laboratorium der allgemeinen technischen Chemie am k. k. polytechnischen Institute, ausführte, beschränkte sich blos auf die quantitative Bestimmung der für die Theorie der Erhärtung wichtigen Bestandtheile. Auf die oft nur in Spuren darin vorkommenden Körper wurde keine Rücksicht genommen.

Das äussere Ansehen des untersuchten Mörtelstückes zeigte, dass es neben Kalk aus feinem Flusssand und grobem Grus bestand. Um die Menge des letzteren zu bestimmen, wurden 100 Gramme des

Mörtels gepulvert und durch ein grobes Sieb geschlagen. Der Rückstand wurde mit verdünnter Salzsäure behandelt, die feineren Theile abgeschlemmt und gewogen. Die Menge dieses groben aus eckigen Quarzstücken bestehenden Sandes betrug 36·3 Gramme. Man kann demnach als Durchschnittszahl annehmen, dass dem Gewichte nach der dritte Theil des Mörtels grober Quarzsand ist.

Zur weiteren Untersuchung verwendeten wir blos den abgeseihten und bei 100° C. im Wasserbade getrockneten Theil.

Die Bestimmung der Kohlensäure wurde durch Zerlegung mit Salzsäure in einem Fresenius-Will'schen Kohlensäure-Apparat vorgenommen, hierauf der Inhalt des die Substanz enthaltenden Kölbchens auf ein Filter gebracht, ausgewaschen und als feiner Sand (Flusssand) berechnet.

I. 5·008 Gramme Substanz gaben 0·9275 Gramme Kohlensäure und 2·573 Gramme Sand als Rückstand. 100 Theile enthalten demnach 18·52 Theile Kohlensäure und 51·37 Theile Sand.

II. 2·607 Gramme Substanz lieferten 0·4925 Gramme Kohlensäure und 1·342 Gramme Sand was für 100 Theile des Mörtels 18·52 Theilen Kohlensäure und 51·47 Theilen Sand entspricht.

Im Mittel enthalten demnach 100 Theile Mörtel 18·7 Theile Kohlensäure und 51·42 Theile feinen Flusssand.

Was die Bestimmung des Kalkes und der Magnesia anbelangt, so wurde sie ebenso wie die Bestimmung des Eisenoxydes und der Thonerde nach dem gewöhnlich hierbei eingeschlagenen Verfahren vorgenommen.

I. 5·008 Gramme Substanz lieferten 2·257 Gramme schwefelsauren Kalk, was 0·9293 Grammen Kalk entspricht und 0·3832 Grmm. zweibasig phosphorsaure Magnesia oder 0·1381 Grmm. Magniumoxyd. 100 Theile des Mörtels geben demnach 18·55 Theile Kalk und 5·3 Theile Magnesia.

II. 2·607 Gramme Substanz geben 1·139 Gramme schwefelsauren Kalk, entsprechend 0·46847 Theilen Kalk und 0·3687 Grmm. pyrophosphorsaure Magnesia, entsprechend 0·1329 Grmm. Magnesia. 100 Theile Mörtel enthalten demnach 17·97 Theile Kalk und 5·1 Theile Magnesia.

Im Mittel enthalten demnach 100 Theile des Mörtels 18·26 Theile Kalk und 5·2 Theile Magnesia.

Eisenoxyd und Thonerde wurden zusammen bestimmt.

I. 5·008 Gramme Substanz gaben 0·09 Gramme Eisenoxyd und Thonerde, was in 100 Theilen 1·8 Theilen Eisenoxyd und Thonerde entspricht.

II. 2·607 Gramme Substanz gaben 0·052 Gramme Eisenoxyd und Thonerde, daher würden 100 Theile 2 Theile geben.

Im Mittel enthalten daher 100 Theile Mörtel 1·9 Theile Eisenoxyd und Thonerde.

Zur Bestimmung der löslichen Kieselsäure wurde die salzsaure Lösung von 2·607 Gramm Substanz verwendet, welche 0·0285 Gramme Kieselsäure lieferte.

In 100 Theilen Substanz sind demnach 1·1116 Theile lösliche Kieselsäure enthalten.

Es muss hiebei noch bemerkt werden, dass die Quarzkörner alle an der Oberfläche rauh und matt aussahen, was offenbar daher rührt, dass sie von dem Ätzkalk angegriffen und lösliche Kieselsäure gebildet wurde.

Um über die Anwesenheit von Ätzkalk vollkommen in's Klare zu kommen, wurde eine grössere Menge (80 — 100 Grm.) des Mörtels zerstoßen und in einer gut schliessenden Flasche mit kaltem Wasser behandelt.

Die abfiltrirte Flüssigkeit reagirte sehr schwach alkalisch, durch Kohlensäure konnte kein Niedersehlag erzeugt werden, was eben nur bei sehr verdünntem Kalkwasser der Fall ist. Nur oxalsaures Ammon füllte eine geringe Menge von oxalsaurem Kalk.

Berechnen wir die ganze Menge der Magnesia, als an Kohlensäure gebunden, so ergibt sich Folgendes:

5·3 Theile Magnesia binden	5·33 Theile Kohlensäure
	zu . . . 10·63 Theilen kohlensaurer Magnesia,
von Kohlensäure aber sind vor-	
handen	18·70 Theile,
	<hr/>
somit bleibt ein Rest von	13·37 Theilen Kohlensäure.
Diese binden	17·01 Theile Kalk
	zu . . . 30·38 Theilen kohlensauren Kalk.
Da aber	18·26 Theile Kalk vorhanden sind,
	<hr/>
so sind	1·25 Th. Kalk als Ätzkalk vorhanden,

wovon überdies noch eine geringe Menge an Kieselsäure gebunden ist.

Dem Vorhergehenden gemäss enthalten 100 Theile Mörtel (den groben Sand abgerechnet):

kohlensauren Kalk	30·38	Theile,
Ätzkalk	1·25	„
kohlensaure Magnesia	10·63	„
lösliche Kieselsäure	1·11	„
Eisenoxyd und Thonerde	1·90	„
feinen Sand	51·42	„
Wasser, Verlust etc.	3·31	„
	<hr/>	
	100·00	Theile.

Es ist demnach in diesem Mörtel die grösste Menge des Kalkes bereits in kohlensauren Kalk umgewandelt. Dieses Resultat ist um so beachtenswerthler, als der Mörtel nicht einmal ein halbes Jahrhundert alt war, während andere Analysen, die mit weit älteren Mörteln vorgenommen wurden, zu dem Resultate geführt haben, dass neben einer verhältnissmässig geringen Menge von kohlensaurem Kalk immer eine ziemlich beträchtliche Menge von Ätzkalk auch in den ältesten Mörteln vorhanden ist.

In vielen Lehrbüchern der Chemie ist demnach auch angeführt, dass sich der Kalk beim Liegen an der Luft nie in neutralen kohlensauren Kalk verwandelt, sondern immer nur in ein aus gleichen Mengen von kohlensaurem Kalk und Kalkhydrat bestehendes Pulver zerfällt.

Man muss wohl annehmen, dass dies der gewöhnliche Fall ist, wie dies auch in der Abhandlung von J. N. Fuchs, über den Kalk und Mörtel ¹⁾ geschieht, worin es auf Seite 142 heisst: „Der Zusammenhalt des mechanischen Mörtels, um auch darüber noch einiges zu sagen, wird lediglich bewirkt durch das an den Theilen des Zuschlages erhärtende Kalkhydrat, an welche es durch Adhäsionskraft so angedrückt wird, wie wenn es auf eine andere Weise zusammengedrückt würde. Es bildet sich dabei immer mehr oder weniger Kalkhydrocarbonat. Es kann auch später unter gewissen

¹⁾ Erdmann's Journal für technische und ökonomische Chemie, Bd. VII, p. 142.

„Umständen alles Wasser entweichen, und durch Kohlensäure ausgetauscht werden; allein dieses erfolgt immer nur äusserst langsam, wie John und Vicat gezeigt haben, und ändert, wie ich glaube, nichts im physischen Zustande des Mörtels. War zuvor das Kalkhydrat compact, so wird auch ein compactes Carbonat entstehen; war es aber locker, so wird auch nur lockeres Carbonat erzeugt werden können. Einige Chemiker und Baumeister waren der Meinung, dass der Kalk des Mörtels durch Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft gleichsam in Marmor verwandelt werde und sich darauf das Erhärten desselben gründe. Allein es ist nicht einzusehen, warum gerade ein marmorartiges Product entstehen müsste, und nicht vielmehr ein der Kreide oder Montmilch ähnliches gebildet werden könnte.“

Der von mir untersuchte Mörtel, so wie viele andere alte Mörtel die ich sah, zeigen an einzelnen Stellen, wo haselnussgrosse Stücke von ganz in kohlensauren Kalk umgewandeltem Ätzkalk sich befinden, dass der Ätzkalk bei dieser Umwandlung in eine der Montmilch vollkommen ähnliche Substanz verwandelt wurde.

Bei allen früheren Mörtelanalysen, wie bei der Untersuchung eines 300 und 100jährigen Mörtels durch Petzhold¹⁾ und der Untersuchung eines 303jährigen, 546jährigen und 662jährigen Mörtels, von der Bastion der Bürger-Kavalier in Wien, durch Prof. Schrötter²⁾ wurde eine beträchtliche Menge von Ätzkalk in dem Mörtel nachgewiesen, aber alle diese Mörtel waren aus dem Innern der Mauern genommen; der von mir untersuchte Mörtel war, wie oben erwähnt wurde, blos durch die Übertünchung von der äussern atmosphärischen Luft abgeschlossen.

Auch Fuchs theilt in dem ersten Theile seiner oben angeführten Abhandlung (Seite 8) mit, dass man allerdings in alten Mörteln mit Kohlensäure vollkommen gesättigten Kalk gefunden habe. Er selbst hat einen solchen Kalk untersucht der von der Ruine Rindenburg an der Altmühl herstammte. Aber die Umstände, unter denen diese Umwandlung stattgefunden hat, sagt Fuchs, sind ganz andere. Der Kalk war hier der freien Luft ausgesetzt, wo ihm die Kohlen-

1) Journal für praktische Chemie. Bd. 16, S. 91.

2) Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissensch. Jahrg. 1848, Abth. 1, S. 234.

säure nicht blos in Gasform, sondern auch mittelst Wasser zugeführt wurde, woraus er sie immer bis zur vollkommenen Sättigung aufnimmt.

Diese Umstände waren nun bei meinem Mörtel gewiss auch vorhanden, denn, wie schon erwähnt, stammte er aus der oberen Decke eines Verkaufsgewölbes, wo also gewiss immer eine nicht unbeträchtliche Menge von Feuchtigkeit in der Luft vorhanden war, wodurch die Kohlensäure diesem Mörtel in sehr reichlichem Masse zugeführt werden konnte.

Ich glaube dennoch annehmen zu können, dass die von Fuchs in der ersten Abtheilung ausgesprochene Vermuthung, dass es nur die feuchte Luft ist, durch welche der Kalk beim Liegen an der Luft vollkommen in neutralen kohlensauren Kalk verwandelt werde, durch meine Untersuchung eine neue Beweisstütze erlangt hat.

Jedesfalls aber ist dadurch widerlegt, dass diese völlige Umwandlung in neutralen kohlensauren Kalk, wie aus den Versuchen John's und Vicat's hervorzugehen scheint, und wie auch Fuchs in der zweiten Abtheilung seiner (oben genannten) Abhandlung über Kalk und Mörtel sagt, äusserst langsam vor sich geht.

Was die lösliche Kieselsäure im Mörtel anbelangt, so ist die Entstehung dieser bereits von Petzhold und Schrötter völlig in's Klare gebracht worden. Man weiss auch, dass man ihrer Bildung nur einen untergeordneten Werth beim Erhärten des Mörtels durchs Altern beilegen kann, indem viele alte felsenfeste Gemäuer mit Mörtel gebaut sind, deren Sand Kalksand ist.

So fand ich, dass der Mörtel der sehr alten und festen Mauern der Ruinen Rauhenstein, Raheneck und Merkenstein in der Nähe von Baden mit Dolomitsand bereitet wurde und Kieselsäure nur in höchst geringer Menge enthält.

Beachtenswerth ist indess der Umstand, dass die meisten der bis jetzt bekannten Mörtelanalysen einen gewissen regelmässigen Zusammenhang ihres Alters mit der Menge der darin vorhandenen löslichen Kieselsäure, nicht verkennen lassen. Indess machen die Unreinheit der Materiale und die verschiedenen Umstände, die beim Altern obwalteten, alle Schlüsse unsicher. Es muss daher die Aufklärung dieses Verhältnisses einer eigenen mit reinem Quarz und Kalk vorgenommenen Untersuchung überlassen werden.

Schliesslich muss ich noch auf eine Bemerkung Otto's¹⁾ aufmerksam machen, welcher angibt, dass der kalkige Überzug, der entsteht, wenn man die zur Strassenbeschotterung dienenden Steinhäufen theilweise mit Kalkmilch begiesst, sehr fest haftet, und vermuthet, dass dies ebenfalls in der Bildung von kohlsaurem Kalk seinen Grund hat. Ich habe sehr oft Gelegenheit gehabt, dies auch zu beobachten, habe mich aber überzeugt, dass dieser kalkige Überzug weit besser auf Quarzschotter haftet als auf Dolomitschotter, wie er in der Umgebung Wiens häufig verwendet wird. Dies kann aber nur in der Bildung von kieselsaurem Kalk seinen Grund haben.

¹⁾ Graham Otto, Lehrbuch der Chemie. Braunschweig 1853, 2. Th., 2. Bd. pag. 442.